



# La forme de la Terre est-elle une preuve de la vérité du système newtonien ?

Irène Passeron

## ► To cite this version:

Irène Passeron. La forme de la Terre est-elle une preuve de la vérité du système newtonien ?. In Terre à découvrir, Terres à parcourir, Danièle Lecoq ed., Editions de l'Université Paris 7-Denis Diderot, p. 128-145, 1996. hal-00361455

**HAL Id: hal-00361455**

**<https://hal.science/hal-00361455>**

Submitted on 15 Feb 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ***La forme de la Terre est-elle une preuve de la vérité du système newtonien ?***

par Irène Passeron, RESHEIS, CNRS Paris

## **Introduction**

Lorsque Newton démontre dans ses *Principia* (1687) que les lois de Kepler gouvernant le mouvement des planètes peuvent se déduire d'une loi unique, les fondements d'une « révolution scientifique » sont posés. Mais le « système » newtonien devait faire ses preuves. Si nous savons aujourd'hui que Newton avait raison, dans un cadre macroscopique et non relativiste au moins, les modalités de son succès au XVIII<sup>e</sup> siècle n'en sont pas pour autant évidentes : comment l'hypothèse théorique d'une attraction universelle est-elle vérifiée par la mesure du rayon terrestre que cherche à obtenir un groupe d'académiciens français entre 1736 et 1737 ? Pourquoi est-il nécessaire que Maupertuis, Clairaut et d'autres respectables mathématiciens aillent affronter les rigueurs septentrionales, et désertent l'Académie royale des sciences, alors que leurs illustres confrères, La Condamine, Bouguer et Godin sont partis sous l'équateur, au Pérou, accomplir la même mission ?

Il paraît prudent, particulièrement en ce qui concerne les sciences « dures » qui appellent facilement des jugements anhistoriques, de ramener l'établissement d'une vérité scientifique aux débats et controverses au sein desquelles elle s'est effectivement imposée. Ici, la vérité en question est la loi d'attraction de toute masse vers une autre en raison inverse du carré de leur distance, loi qui constitue un des fondements de la physique moderne. Une des controverses célèbres du début du XVIII<sup>e</sup> siècle prend sa source dans ce que l'on peut reprocher à cette loi, à savoir d'être « à distance », précisément, et donc de n'être soutenue par aucun phénomène mécaniquement explicable.

Les voyages des académiciens en Laponie et au Pérou avaient pour objectif de clore cette controverse et de conforter les théories newtoniennes par des faits concrets : des mesures et des observations.

Il ne suffit pas de comprendre ce que fonde Newton en 1687 dans les *Principia* pour saisir les raisons du succès de la physique newtonienne. Avant de faire autorité, cette vision du monde a dû montrer son efficacité selon les critères de l'époque. Grâce aux travaux des mathématiciens du XVIII<sup>e</sup> siècle, une partie du champ scientifique se déplace des hypothèses et discussions à

propos des systèmes du monde vers une physique mathématique spécialisée qui échappe désormais à la maîtrise des amateurs, même éclairés.

Nous serons amenés à nous demander comment et pourquoi les oppositions se sont cristallisées autour d'un point qui pourrait paraître secondaire : la question de savoir si la terre est déformée dans le sens d'un aplatissement ou d'un allongement : la démonstration de Newton aboutit à une Terre en forme d'ellipsoïde aplati, comme une figue ou une orange disaient à l'époque, par opposition à un ellipsoïde allongé, comme une datte ou un citron. Jusqu'à la date du voyage en Laponie, les mesures du degré de méridien terrestre qu'ont faites les Cassini, prestigieux astronomes de père en fils, vont dans le sens d'une déformation du globe terrestre dans la direction de son axe, en contradiction, donc, avec les conclusions de Newton. Or, à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle un des objectifs scientifiques primordiaux est la détermination d'une valeur exacte du rayon terrestre. Cette recherche est liée à la nécessité de posséder un étalon de mesure universelle, nécessité à l'origine de la définition du mètre.

C'est dans un tel contexte que nous verrons comment l'Académie royale des sciences, née dans la seconde moitié du XVII<sup>e</sup> siècle, mais déjà tendue par les conflits des différentes stratégies scientifiques, en vient à envoyer bon nombre de ses membres, les uns au nord, les autres au sud, pour mesurer un degré d'arc du méridien terrestre.

Dans quelle mesure les données de l'observation allaient-elles lever le doute sur la validité de la loi en  $1/r^2$ , telle sera la question finale, ce qui nous amènera à réfléchir sur les vertus de prédictivité attribuées aux « bonnes théories scientifiques », et sur l'ensemble des critères qui interviennent dans la réussite et la diffusion d'un savoir scientifique.

## **1. Révolution newtonienne**

Dans le domaine des sciences et plus particulièrement pour la mécanique et l'astronomie, les *Principia* de Newton sont considérés comme un des événements les plus importants de toute l'histoire<sup>1</sup>. Ce faisant, on se réfère essentiellement au système du monde que Newton élabore dans les *Philosophiae naturalis principia mathematica*, dont la première édition paraît en latin en 1687, et la troisième édition, plus complète, en 1726, trois ans avant sa mort. L'ouvrage peut être considéré comme révolutionnaire dans la mesure où il présente une vue générale et nouvelle de la mécanique à partir de lois simples et développées de façon mathématique<sup>2</sup>.

La loi qui a été à l'origine des débats les plus véhéments est celle de l'attraction qu'exercent l'une sur l'autre deux particules. Elle est une des bases de calcul de la physique contemporaine. Newton est ainsi devenu une des figures emblématiques, entre Galilée et Einstein, de la physique dite moderne.

Une approche historique conduit cependant à interroger la reconstruction idéalisante que font *a posteriori* les scientifiques en définissant ce qui leur paraît être une étape marquante de la science. Dans un premier temps, il faut restituer la lecture qui a pu en être faite sur le moment et se demander sur la base de quels débats, cette physique, dite nouvelle, s'est instaurée. Dans un second temps, on peut interroger les justifications données par les scientifiques de l'époque quant à la vérification expérimentale et à la prédictivité de la théorie newtonienne. Un nouveau discours scientifique, qui aspire le plus souvent à être « la » parole scientifique en un domaine déterminé, ne s'impose jamais naturellement.

Une partie de la légitimation de ce discours théorique a été obtenue grâce aux résultats de deux voyages menés par des académiciens français : les uns partirent vers l'équateur (latitude zéro), au Pérou, les autres vers le pôle (latitude 90), en Laponie, pour mesurer, toise et quart-de-cercle à la main, un degré d'arc de méridien<sup>3</sup> (voir la Table ci-dessous). C'est au travers du premier de ces voyages, le plus décisif, et de son enjeu, la mesure de la forme de la terre, que nous allons prendre contact avec le travail physico-mathématique du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Table donnant la correspondance entre la latitude, la longueur d'un degré calculée d'après la théorie, et la longueur mesurée, dans l'article « figure de la terre » de l'*Encyclopédie*.

## **2. Le voyage en Laponie, projet institutionnel**

Le « voyage au Nord » est une véritable expédition scientifique. Parti sur ordre du Roi, il est composé de membres de la prestigieuse Académie Royale des Sciences et s'est donné un objectif scientifique précis, bien plus précis et limité même que les grands voyages d'explorations du XVIII<sup>e</sup> siècle : mesurer la forme de la terre, et par là lever définitivement tout doute sur la validité de la loi d'attraction newtonienne, voilà ce qui est attendu des savants. La question est-elle à ce point préoccupante que le Roi et ses ministres décident de mobiliser l'Académie des Sciences sur sa résolution ? Le problème ne se posait évidemment pas en termes aussi simples, et nous tenterons de donner ici un aperçu des intérêts et conflits en jeu, les uns de prestige, les autres de stratégie scientifique, se mêlant à des positions philosophiques parfois simplement brandies à titre d'étendards.

Au début XVII<sup>e</sup> siècle, l'attention du public français est attiré par une dispute d'astronomes connus. L'intérêt des amateurs éclairés est stimulé par les prises de position des philosophes. Un espace de controverse s'ouvre alors dans lequel les physiciens vont pouvoir établir leur renommée en affichant des prises de position engagées. « L'Europe savante attend leur retour comme on attendrait l'arrêt de plusieurs juges qui doivent prononcer sur les sentiments divers qui partagent les Astronomes », comme l'écrit un journaliste du *Glaneur français* favorable au grand Cassini, l'astronome cartésien. L'expédition de Laponie revenue, cette controverse participe de l'effervescence qui anime la vie mondaine de la Capitale : « les esprits sont à Paris dans une petite guerre civile; les jansénistes attaquent les jésuites, les cassinistes s'élèvent contre Maupertuis et ne veulent pas que la terre soit

plate aux pôles »; Voltaire prend alors farouchement parti pour Maupertuis et les newtoniens.

Ces expéditions, financées par Maurepas, ministre de la Marine, sur « décision du Roi » sont dans la lignée des voyages lointains auxquels participent des astronomes à la poursuite d'observations d'éclipses et de mesures de parallaxes. De telles moissons servent tout autant à fortifier la renommée scientifique qu'à justifier des retombées utilitaires, ce que appelle Maupertuis dans le discours qu'il lit à l'Assemblée publique le 13 novembre 1737, à son retour de Laponie « Mr le Comte de Maurepas, qui aime les Sciences, & qui veut les faire servir au bien de l'État, trouva réunis dans cette entreprise l'avantage de la navigation & celui de l'Académie : & cette vue de l'utilité publique mérita l'attention de M. le Cardinal de Fleury ; au milieu de la guerre [de succession de Pologne] les sciences trouvèrent en lui une protection »

L'entreprise obtient indéniablement le prestige que lui vaut un succès que le *Mercure de France* relève : « Les Messieurs de l'Académie Royale des Sciences, qui avaient été envoyés par le Roi dans le Nord pour trouver la figure de la Terre, ont rendu compte à l'Académie de leurs Observations par lesquelles il est décidé que la Terre est un sphéroïde aplati vers les pôles, ainsi que Mrs Huygens, Newton et plusieurs grands géomètres l'avaient pensé d'après la théorie », insistant sur « l'attention singulière et l'intérêt marqué de la plus nombreuse assemblée qu'il y ait eu jusqu'à présent dans aucune séance académique, [qui] font assez l'éloge du travail de ces illustres voyageurs, de la finesse et de l'exactitude de leurs opérations, et de la manière aussi claire qu'élégante avec laquelle M. de Maupertuis a su mettre tout le monde à portée d'en juger ».

Le public était déjà sensibilisé à la question de la figure de la Terre puisqu'un an avant le départ pour la Laponie, un autre groupe d'académiciens était parti vers l'équateur, avec la même mission : évaluer l'aplatissement terrestre, ce que la *Gazette d'Utrecht* rapportait en ces termes au mois de mars 1735 : « Mrs Bouguer, de la Condamine et les autres académiciens que le roi a chargés d'aller mesurer la ligne, au plus près du soleil partirent la semaine dernière pour aller s'embarquer à Rochefort ».

Avant de rentrer dans le projet lui-même, faisons tout d'abord connaissance avec ses acteurs :

### **3. Les académiciens**

L'expédition est menée par Maupertuis, un « géomètre » de 37 ans, pensionnaire de l'Académie. Avec lui partent Clairaut, un jeune associé « mécanicien » de 22 ans, Camus associé « mécanicien » de 41 ans, et le benjamin, Le Monnier, adjoint « géomètre » de 20 ans.

Celsius, astronome suédois de 34 ans, professeur à l'Université d'Upsal, participe également à cette entreprise française, et joue un rôle important, au moins dans sa préparation. En effet, c'est sur son conseil que la Laponie est choisie comme site de travail.

Celsius est également chargé de se procurer en Angleterre certains des instruments astronomiques nécessaires aux mesures, dont un fameux secteur de Graham, comme l'indique cette lettre du 22 novembre 1735 : « Je vous prie de faire exécuter le secteur au plus tôt, et de profiter de la bonne volonté de M. Graham. Il nous faudra aussi une de ces Pendules astronomiques et la machine pour mesurer la Pendule ».

Se joint à eux, outre un dessinateur et un secrétaire, Outhier, un abbé de 41 ans, habile aux observations astronomiques, qui avait déjà participé à la triangulation de la grande Carte de France des Cassini et avait été nommé membre correspondant de l'Académie.

Revenons sur les fonctions de ces académiciens et expliquons les guillemets du premier paragraphe. L'Académie Royale des Sciences est organisée par une hiérarchie et scinde sa production écrite en diverses catégories. Ses membres se répartissent, par ordre croissant d'importance, en adjoints, puis associés et enfin pensionnaires (les seuls qui reçoivent une pension annuelle de 1500 livres, à comparer aux 300 livres d'un bon ouvrier), ordre qui ne date pas tout à fait de la fondation en 1666, mais qui est bien en place en 1735. Bien que le nombre de ses membres puisse nous paraître restreint, ce groupe choisi constitue bien, au XVIII<sup>e</sup> siècle, le lieu de la recherche, au moins en ce qui concerne la théorie et le choix des applications.

La Compagnie, ainsi que ses membres la désigne parfois, comprend 20 pensionnaires, 12 associés et 12 adjoints, répartis dans 6 classes de mathématiques et de physique : l'astronomie, la mécanique, la géométrie, la chimie, la botanique et l'anatomie. D'où les titres d'« astronomes », de « géomètres » ou de « mécaniciens », et le calcul simple : un huitième de ses effectifs envoyé de par le monde...

Si les voyageurs du Nord ne s'absentent qu'une année, les savants partis au Pérou sous la direction de Godin, La Condamine, Bouguer, Joseph de Jussieu (frère des Jussieu académiciens, et quant à lui naturaliste au Muséum) et deux officiers de la Marine espagnole (domination espagnole oblige), Ulloa et Juan, ne reviendront, pour ceux qui reviendront, qu'en 1744, huit longues années après leur départ.

Ce double projet a été préparé par de nombreux travaux académiques et par une progressive densité d'attention portée à ce sujet. Dans les *Mémoires*, publication officielle de l'Académie, de nombreux textes ont paru sur les divers procédés géométriques susceptibles d'être utilisés lors de la mesure d'arcs de méridien, d'arcs de parallèles, sur les oscillations des pendules, dont on va voir le rôle dans le paragraphe suivant.

Ces académiciens, pour jeunes qu'ils soient, ont donc fait leurs preuves comme géomètres, et, ce qui est essentiel ici, comme manipulateurs du nouveau calcul différentiel, entre autres par des études sur les courbes. Ils ont tous une pratique, plus ou moins reconnue, des mesures astronomiques, et ce, quelle que soit la discipline mathématique de leur affiliation institutionnelle. Ils sont ainsi tout à la fois géomètres, quant au calcul mathématique, mécaniciens, quant aux hypothèses que nous appelons aujourd'hui physiques, astronomes quant aux mesures à effectuer. Que sont donc les physiciens, à l'époque ? Et bien ceux qui s'occupent davantage de la description du réel que de son explication théorique : les chimistes, botanistes et anatomistes. En conclusion, la figure de la terre est ici affaire de mathématicien.



#### ***4. L'enjeu : la mesure d'un degré***

En quoi consiste cette affaire de mathématicien ? Nous allons rapidement faire les liens logiques, de la façon la plus claire possible, entre la théorie de la gravitation, la méthode de triangulation et les mesures astronomiques.

Nous avons vu que ces savants portaient mesurer la longueur d'un degré d'arc de méridien :

Mettons nous à la place d'un amateur éclairé, attiré à l'assemblée publique de l'Académie Royale des sciences, et écoutons, soutenus par quelques commentaires *mezzo voce* :

*DISCOURS LU  
DANS L'ASSEMBLEE PUBLIQUE  
Le 13 novembre 1737*

*DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES,  
SUR LA MESURE DE LA TERRE AU CERCLE POLAIRE.*

*J'exposai, il y a dix-huit mois, à la même Assemblée, le motif & le projet du voyage au cercle polaire; je vais lui faire part aujourd'hui de l'exécution. Mais il ne sera peut-être pas inutile de rappeler un peu les idées sur ce qui a fait entreprendre ce voyage. M. Richer ayant découvert à Cayenne, en 1672, que la pesanteur étoit plus petite dans cette isle voisine de l'équateur, qu'elle n'est en France, les Savants tournerent leurs vues vers toutes les conséquences que devoit avoir cette fameuse découverte.*

Premier commentaire : Depuis l'Antiquité, les astronomes raisonnent sur une terre considérée comme une sphère parfaite. La pesanteur, cette force

qui contrarie le mouvement et provoque la chute des corps, est donc pensée comme égale en tout point de la terre et dirigée vers son centre.

A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, cette régularité suggère, *via* l'observation d'un pendule, petite boule suspendue à un long fil, que sa longueur pourrait servir d'étalon de longueur universel. En effet, la période des petites oscillations d'un tel pendule augmente si l'on augmente la longueur du fil, et diminue si l'on augmente la force qui l'attire vers le bas : plus précisément, un pendule d'un « mètre » fait un aller et retour en une seconde, fraction déterminée du jour solaire (n'oublions pas que le mètre n'existe pas encore, puisqu'il sera une conséquence tout à la fois de la volonté d'imposer une mesure universelle de longueur, et de la précision obtenue dans la mesure du méridien)

La mise en avant d'une telle utilité, fournir un étalon de longueur valable -au moins!- à travers le Royaume de France, n'était pas superfétatoire, si l'on songe aux difficultés des échanges commerciaux et au peu de prise de l'État sur un pays où chaque province, chaque corporation définit sa propre unité de longueur...voire même chaque matériau, puisque par exemple une aune de laine n'égale pas l'aune de soie. Les astronomes, pour lesquels l'échange d'observations et de mesures devenait nécessité, n'étaient pas mieux lotis, puisque la France elle-même avait du mal à se doter d'une toise qui fut la même d'un bout à l'autre de Paris, relativement du moins à la précision requise par leurs calculs.

C'est la raison pour laquelle l'académicien Richer, parti faire des mesures astronomiques de Mars à Cayenne, près de l'équateur, emporte un pendule d'une longueur *ad hoc* (c'est-à-dire qui « bat la seconde » à Paris), et constatant qu'il lui faut raccourcir son pendule de quelques millimètres (modernes ! on mesure en lignes à l'époque), en déduit que la pesanteur est plus faible à Cayenne qu'à Paris. Cette constatation aurait pu passer inaperçue, si elle ne trouvait un écho dans une théorie puissante alors

élaborée par Huygens (membre pour l'heure de l'Académie) et Newton, celle des forces centrifuges. Nous en savons maintenant assez pour continuer d'écouter :

*Un des plus illustres membres de l'Académie trouva qu'elle prouvoit également, & le mouvement de la Terre autour de son axe, qui n'avoit plus guere besoin d'être prouvé, & l'applatissage de la Terre vers les poles, qui étoit un paradoxe. Huygens, appliquant aux parties qui forment la Terre la théorie des forces centrifuges, dont il étoit l'inventeur, fit voir qu'en considérant ses parties comme pesant toutes uniformément vers un centre, & comme faisant leur révolution autour d'un axe; il falloit, pour qu'elles demeurassent en équilibre, qu'elles formassent un sphéroïde applati vers les poles. Huygens détermina même la quantité de cet applatissage, & tout cela par les principes ordinaires de la pesanteur.*  
*MAUPERTUIS, Discours...*

Second commentaire : que prouve ainsi Huygens ? Que la force centrifuge, c'est-à-dire la force créée par la rotation de la Terre sur son axe, qui tend à faire fuir un objet à sa surface perpendiculairement à l'axe, et ce d'autant plus qu'il est éloigné de l'axe, diminue l'intensité de l'attraction terrestre au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur :

Voilà pour la pesanteur, mais le raisonnement ne s'arrête pas ici : la surface des océans, comme celle d'un verre d'eau, doit, pour rester en équilibre, être perpendiculaire à la pesanteur, combinaison de l'attraction et de la force centrifuge. Il s'ensuit que la surface des océans, et donc de la terre considérée comme déformable, doit être légèrement modifiée par cette altération de la pesanteur.

Oui, mais...

*Newton étoit parti d'une autre théorie, de l'attraction des parties de la matière les unes vers les autres, & étoit arrivé à la même conclusion, c'est-à-dire, à l'aplatissement de la Terre ; quoiqu'il déterminât autrement la quantité de cet aplatissement. En effet, on peut dire que lorsqu'on voudra examiner par les loix de la Statique la figure de la Terre, toutes les théories conduisent à l'aplatissement; & l'on ne sauroit trouver un sphéroïde allongé, que par des hypothèses assez contraintes sur la pesanteur.*

*MAUPERTUIS, Discours... suite*

C'est ici qu'intervient l'interprétation physique de l'attraction terrestre : peut-on la supposer dirigée vers le centre de la Terre, quelle que soit sa forme, dans l'hypothèse où cette force serait due à une poussée extérieure, ou doit-on imaginer qu'elle se modifie avec la forme de la Terre, puisqu'elle est la résultante de forces engendrées par toutes les particules qui la constituent ? La première hypothèse est celle de Huygens, la seconde est celle que Newton développe dans le système du monde connu par les *Principia Mathematica*.

loi d'attraction des corps entre eux, inversement proportionnelle  
au carré de leur distance.

Pour obtenir l'attraction totale exercée par un volume sphéroïdique, il faut ajouter une infinité de petites attractions exercées dans des directions et à des distances différentes, et l'on voit bien se profiler l'usage du calcul différentiel, qui est précisément ce calcul sur les « différences infinitésimales » dont la nature est à elle seule un problème mathématique.

## ***6. Dispute entre cartésiens et newtoniens ou l'affrontement de deux discours***

Comment ce problème mathématique interférerait-il avec les hypothèses relatives au système du monde?

Il serait plus exact de demander comment cette question, celle de la figure de la terre, que l'on aurait pu imaginer discutée dans le cadre de la physique non mathématisée (et elle l'a été, entre 1600 et 1735), ou de la géodésie de terrain, est devenue une question mathématique d'importance, développée jusqu'à nos jours.

Descartes et les cartésiens avaient mis en place une physique des chocs et une mathématique de relations, sans que l'une et l'autre ne soient profondément liées. Dans ce système, il n'est de force qu'impulsive et les seuls phénomènes susceptibles d'expliquer de façon claire et distincte la chute des corps sont les tourbillons de matière éthérée environnant la terre qui poussent les particules plus lourdes que cette matière.

Newton, dans la première édition des Principia, en 1687, annonce, par une astucieuse formulation géométrique qui élimine une partie des difficiles calculs liés à sa loi d'attraction, un aplatissement de  $1/230$  : cela signifie qu'en supposant que la terre vue en coupe soit une ellipse, le plus grand des axes dépasse le plus petit de sa 230<sup>e</sup> partie.

Reprenons ici les explications de Maupertuis :

*Dès l'établissement de l'Académie, un de ses premiers soins avoit été la mesure du degré du méridien de la Terre. M. Picard avoit déterminé ce degré vers Paris, avec une si grande exactitude, qu'il ne sembloit pas qu'on pût souhaiter rien au delà. Mais cette mesure n'étoit universelle qu'en cas que la Terre eût été sphérique ; et si la Terre étoit aplatie, elle devoit être trop longue pour les degrés vers l'équateur, & trop courte pour les degrés vers les poles.*

*Lorsque la mesure du méridien qui traverse la France fut achevée, on fut bien surpris de voir qu'on avoit trouvé les degrés vers le*

*nord plus petits que vers le midi ; cela étoit absolument opposé à ce qui devoit suivre de l'applatissage de la Terre. Selon ces mesures, elle devoit être allongée vers les poles : en d'autres opérations, faites sur le parallèle qui traverse la France, confirmoient cet allongement ; & ces mesures avoient un grand poids.*

*MAUPERTUIS, Discours lu dans l'Assemblée Publique de l'Académie Royale des Sciences le 13 novembre 1737, extrait*

Où l'on voit que parallèlement aux travaux théoriques, les préoccupations savantes allaient également à la mesure sur le terrain des distances réelles. L'État avait en effet le plus grand besoin de cartes précises. Un des premiers objectifs de l'Académie fut la mesure du rayon terrestre et l'établissement d'une carte exacte du Royaume.

Les mesures de Picard, effectuées au nord et au sud de Paris, et reprises tout au long de la grande Méridienne, de Dunkerque à Collioure par les Cassini, de père en fils, entre 1680 et 1735, permettaient le calcul de la longueur d'un degré d'arc de méridien, qui varie suivant la latitude. Et c'est ici que se situe le hiatus : les Cassini (Jean-Dominique puis Jacques), fervents cartésiens, trouvaient que la longueur d'un degré d'arc de méridien raccourcissait en allant du sud au nord de la France. Or, si un sphéroïde est aplati, les degrés doivent diminuer en allant du pôle vers l'équateur, et non l'inverse...

En 1735, les mesures sur le terrain donnaient donc raison aux cartésiens, qui se faisaient fort de trouver une explication théorique de ce fait par le biais des tourbillons, même si les travaux de Huygens à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, basés sur une hypothèse cartésienne, avait abouti à une terre aplatie, mais dans un rapport moindre que celui trouvé par Newton. Inversement, les newtoniens voyaient dans une remise en question des mesures effectuées par les Cassini, et l'établissement d'un aplatissement conforme à celui prévu par Newton, une première confirmation irréfutable du système newtonien, détruisant définitivement les doutes cartésiens.

Cette dispute est donc souvent présentée par les historiens des sciences comme la partie émergée du combat entre deux explications du monde, Descartes contre Newton, le plein contre le vide, les tourbillons contre la force d'attraction. Cette opposition se joue de fait à plusieurs niveaux :

Sous un aspect métaphysique : l'antagonisme de deux systèmes de la Nature, et de deux traditions, l'une française, l'autre anglaise.

Sous un aspect individuel : on peut ici rappeler la description d'Angliviel de la Beaumelle

*[Maupertuis] les jours d'assemblée, donnait à dîner à quelques jeunes newtoniens, qu'il menait au Louvre [lieu où se rassemblait l'Académie] pleins de gaieté, de présomption et de bons arguments. Il les lâchait contre la vieille Académie, qui désormais ne pouvait ouvrir la bouche sans être assaillie par ces enfants perdus, ardents défenseurs de l'attraction. L'un [sans doute La Condamine] accablait d'épigrammes les Cartésiens, l'autre de démonstrations [sans doute Clairaut]*

ou songer au retentissement donné à cette controverse par Voltaire et quelques écrits destinés à attirer l'attention du public. Ainsi Maupertuis raconte, dans la *Lettre d'un horloger anglais à un astronome de Pékin* publiée anonymement, comment un calife de Babylone, grand protecteur des sciences, ayant voulu savoir quelle était la figure de la Terre, et ayant chargé ses deux plus grands mathématiciens de l'en informer, resta fort perplexe d'apprendre de l'un qu'elle avait la forme d'une datte, tandis que l'autre lui donnait la forme d'un oignon.

Sous un aspect disciplinaire : les astronomes de terrain, reconnus et puissants (les Cassini) contre les géomètres.

Sous un aspect fonctionnel : les arguments géométriques traditionnels tels qu'ils sont employés par les cartésiens désireux de fournir une base théorique aux mesures des Cassini, contre l'analyse différentielle qui fournit,

après de longs calculs devenus l'objet même du travail, des formules et de nouvelles questions.

### ***6. les mesures : rigueur et difficultés : des faits aux justifications.***

Venons-en au point que nous n'avons fait qu'effleurer : comment mesurer ce degré, au nord comme au sud ?

Le XVII<sup>e</sup> siècle s'étant préoccupé d'augmenter la précision de la mesure du rayon terrestre léguée par l'Antiquité, un procédé très fiable (encore en usage, bien que supplanté dans les années 80 par l'interférométrie à très longue base et des techniques de géodésie dynamique, voir le livre sur la figure de la Terre, du XVIII<sup>e</sup> siècle à l'ère spatiale) s'est imposé : la triangulation.





Outre les mesures astronomiques consistant à relever la position d'étoiles en des points de la triangulation afin de déterminer la position du réseau par rapport au méridien que l'on a choisi, il y a donc une base à mesurer. Il est souhaitable qu'elle soit sur le terrain le plus plat possible, ce qui, au XVIIIème siècle, ne se trouve pas si facilement, surtout en des contrées lointaines, que les voies romaines n'ont pas atteintes.

Les académiciens étaient partis sans connaissance du terrain, mais la chance leur sourit dans le golfe de Bothnie. Le fleuve qui remontait vers le nord à partir de Tornéa se prêtait à leurs desseins : il encadrait la direction du méridien, était environné de sommets à partir desquels la visée des angles des triangles était possible, était navigable l'été et gelé l'hiver, ce qui offrait la surface plane cherchée. De plus la logistique était assurée par des soldats suédois, toutes choses qui différaient grandement des conditions rencontrées par les académiciens partis au Pérou : terrain impropre, sommets difficiles à atteindre, hostilité des populations locales (après de longs efforts pour monter un signal en haut d'une montagne, redescendre et en escalader une autre afin de viser la première, ne les attendait que la déception du premier signal disparu...).

Pour autant, les conditions de travail n'étaient pas celle des salons parisiens et Maupertuis pouvait raconter avec emphase :

*On imaginera, ce que c'est que de marcher dans une neige haute de 2 pieds, chargés de perches pesantes, qu'il fallait continuellement poser sur la neige et relever, pendant un froid si grand, que la langue et les lèvres se gelaient sur le champ contre la tasse, lorsqu'on voulait boire de l'eau-de-vie, qui était la seule liqueur qu'on pût tenir assez liquide pour la boire, et ne s'en arrachaient que sanglantes. (La figure de la Terre déterminée par les observations... faites par ordre du Roy au cercle polaire, 1738)*

Quelle était la conclusion de cette campagne si brillamment menée ? Que la Terre était aplatie, bien sûr, et que Newton avait raison. Mais cet aplatissement correspondait-il à celui calculé par Newton,  $1/230$  ? Et bien, pas précisément, puisque la mesure ramenée de Laponie comparée aux meilleures mesures parisiennes donnait un aplatissement de  $1/125$ , donc plus grand qu' $1/230$ . Était-ce si grave ? De fait, ce ne le fût pas, et pourtant... La théorie de Newton développée dans un style analytique par Clairaut, précisément pendant les longues nuits polaires de l'hivernage à Tornéa, affirmait que compte-tenu du fait que la Terre devait être plus dense au centre qu'à la surface, l'aplatissement devait être inférieur à  $1/230$  ! (on sait aujourd'hui qu'effectivement l'aplatissement réel est de  $1/298,3$ ).

Il faudra attendre de nouvelles mesures en Laponie, en 1801-1803, pour mettre en évidence le trop grand enthousiasme des newtoniens de 1735, aplatisant la terre plus qu'il n'était nécessaire.

## **7. Conclusion :**

En définitive, comment se sont articulés le succès newtonien et l'expédition en Laponie ?

Par le biais d'une opération de prestige, par une autorité définitivement assise au sein de l'Académie, et par une théorie jugée performante même si non exempte de contradictions.

Ce qui ne sera plus remis en cause, est une nouvelle pratique, portée par le calcul infinitésimal, intimement liée aux résultats obtenus en mécanique céleste.

L'exactitude des mesures, quant à elle, s'insère dans une mise en scène des résultats savants, à laquelle participe la narration dans les milieux éclairés.

## ***Petite bibliographie pour en savoir plus sur...***

**La figure de la Terre** : *La figure de la Terre du XVIII<sup>e</sup> siècle à l'ère spatiale*, sous la direction de H. Lacombe et P. Costabel, Gauthier-Villars, 1988. Ce sont les actes du colloque commémorant en 1986 le 250<sup>ème</sup> anniversaire des missions envoyées par l'Académie en Laponie et au Pérou. On y trouvera des contributions aussi bien historiques que scientifiques contemporaines, très claires et bien documentées, donnant les références permettant d'aller y regarder d'encore plus près!

**Le voyage en Laponie** : Lire aux sources est toujours plus évocateur, *la figure de la terre déterminée par les observations de MM de Maupertuis, Clairaut, Camus, Le Monnier, Outhier, Celsius, au cercle polaire*, Paris 1738, texte réédité dans les *Oeuvres* de Maupertuis; *Journal d'un voyage fait au Nord en 1736 et en 1737*, 1744, de l'abbé Outhier, réédité en 1994 par A. Balland, sous le titre *La Terre mandarine*, Seuil.

**Maupertuis** : P. Brunet a consacré deux ouvrages à Maupertuis, une *Étude biographique*, et sur *l'oeuvre et sa place dans la pensée scientifique et philosophique du XVIII<sup>ème</sup> siècle*, chez Blanchard, 1929.

**L'Académie des Sciences** : *L'anatomie d'une institution scientifique, l'académie des sciences de Paris, 1666-1803*, R. Hahn, trad. aux Ed. des archives contemporaines, 1993.

**Newton** : le sujet est vaste et les angles d'attaques au moins aussi variés que les différentes conceptions des historiens des sciences. On peut ne serait ce que jeter un oeil (plus demande une motivation certaine) dans la traduction française des *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, établie par la Marquise du Châtelet, et publiée en 1759. Il en existe une réédition chez Blanchard. Pour avoir une idée de l'évolution de la rhétorique mathématique, regarder l'ouvrage de Clairaut *Théorie de la figure de la terre*, 1743, réédité en 1808 et celui de Lagrange, *Mécanique analytique*, 1788, réédité par J. Gabay en 1989.

**L'expédition au Pérou** : pour une version romancée des aventures trépidantes de La Condamine, Godin et Bouguer, dévorer *Le procès des étoiles*, F. Trystram, Seghers, 1979.

**La géodésie** : *Mesurer la Terre, 300 ans de géodésie française*, de J.J Levallois, aux Presses des Ponts et Chaussées, 1988 est un gros ouvrage très bien documenté faisant "le tour" de la question.

**L'astronomie** et ses diverses manifestations dans l'histoire : par exemple, le dernier numéro spécial de la revue *Ciel et Espace*, "l'histoire cachée de l'astronomie".

67° de latitude nord

LE PARCOURS DES ACADEMICIENS DE PARIS A TORNEA

Axe de rotation

LONGUEUR MESUREE DE L'ARC

Méridien

AU POINT A  
OU AU POINT B,  
UNE MEME ETOILE N'EST PAS VUE SOUS LE MEME ANGLE

B EST 100 FOIS MOINS ATTIRE QUE A PAR LA MASSE

Une Terre aplatie pour les newtoniens...et allongée pour les cartésiens  
Les formes sont exagérées!

Arc

CENTRE DE LA TERRE

calculé	calculé	calculé	calculé
mesuré sur le terrain			
mesuré			mesuré
	mesuré	mesuré	
mesuré			mesuré
et ainsi de suite			

Ce que l'on mesure par visée et ce que l'on calcule à partir des mesures  
vers le centre de la Terre

L'attraction exercée sur le point S  
par la petite masse A est **100** fois **plus** forte  
que celle exercée par la petite masse B, si A est **10** fois **moins** loin.

Les deux **verticales** qui définissent un arc de **même** amplitude en degré,  **$\alpha$** ,  
découpent sur l'ellipse une longueur **plus grande** au pôle nord qu'à l'équateur, car  
le rayon de courbure est plus grand

	verticale du lieu		
<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>	
pôle nord		équateur	

---

<sup>1</sup> Cf. par exemple : *Les origines de la physique moderne*, d'I.B. Cohen, New-York, 1960, trad. Paris, Seuil, 1993.

<sup>2</sup> La bibliographie concernant Newton est vaste et les approches aussi variées qu'il existe de conceptions épistémologiques. Pour ne parler que des sources, on peut consulter la traduction française des *Principia* par Madame du Châtelet, Paris 1759, rééd. Blanchard, Paris, 1966 ; pour se faire une idée de l'évolution du discours mathématique à partir de 1740, cf. Clairaut *Théorie de la figure de la terre*, Paris, 1743, rééd. Paris, 1808 et Lagrange, *Mécanique analytique*, Paris, 1788, rééd. J. Gabay, Paris, 1989. Les articles de Koyré réunis dans *Etudes newtoniennes*, Paris, Gallimard, 1968 offrent une interprétation originale et convaincante.

<sup>3</sup> Sur l'expédition de Laponie, cf. *La figure de la terre déterminée par les observations de MM de Maupertuis, Clairaut, Camus, Le Monnier, Outhier, Celsius, au cercle polaire*, Paris 1738. Le texte est réédité plusieurs fois, par exemple dans les *Oeuvres* de Maupertuis, Lyon, 1768, t. III, p. 69-175 ; *Journal d'un voyage fait au Nord en 1736 et en 1737*, 1744, de l'abbé Outhier, réédité en 1994 par A. Balland, sous le titre *La Terre mandarine*, Seuil.